

## Chromosome Aberration in Peripheral Lymphocyte of Radiation Workers in Hospital

Yi Chun Ja, Ha Sung Whan, Jung Hae Won

Cancer Research Center

Seoul National University Graduate School of Public Health

### 병원내 방사선작업종사자들의 염색체이상빈도

이춘자 · 하성환 · 정해원

서울대학교 암연구소

서울대학교 보건대학원

**Abstract** - Cytogenetic studies were performed in peripheral blood lymphocytes from hospital workers occupationally exposed to low doses of radiation (0.30 - 40.07mSv). The workers were divided into three groups according to their job area : 18 diagnostic radiology, 17 therapeutic radiology, and 16 nuclear medicine. The control group consisted of 49 non-radiation workers with no history of exposure to radiation.

A higher percentage of cells with aberration(1.275%) was observed in the workers compared to the controls(0.677%) and the difference was statistically significant( $p < 0.001$ ). The frequency of chromosomal aberration was  $0.706 \times 10^{-2}/\text{cell}$  in the exposed and  $0.344 \times 10^{-2}/\text{cell}$  in the control( $p < 0.05$ ). Chromosomal exchange frequency was  $0.083 \times 10^{-2}/\text{cell}$  in the control vs  $0.245 \times 10^{-2}/\text{cell}$  in the workers. There was no evidence of significant increase of chromosome aberration related to age or to the duration of employment. The frequency of chromosomal exchange in workers of nuclear medicine was  $0.313 \times 10^{-2}/\text{cell}$ , which was significantly higher than in the control( $0.083 \times 10^{-2}/\text{cell}$ ) or other working groups: therapeutic radiology( $0.265 \times 10^{-2}/\text{cell}$ ), and diagnostic radiology( $0.167 \times 10^{-2}/\text{cell}$ ). No dose-effect relation was found between chromosome aberration and total cumulative doses, recent 5 yr, recent 2 yr cumulative dose. But in case of last 1 yr cumulative dose, dose-dependant increase was observed when controls were considered( $p < 0.05$ ).

The radiation dose which workers have received was much lower than the maximum permissible dose, but there was a significant difference in the frequency of chromosome aberration between occupationally exposed workers and control. So, it is clear that chromosome aberration is a quite sensitive indicator of radiation exposure and it can be detected at very low dose level of occupational exposure.

*Key Words* : Radiation, Chromosome aberration, Dicentric chromosome, Hospital radiation worker

**요약** - 병원내 방사선 작업 종사자 51명(진단방사선과 18명, 치료방사선과 17명, 핵의학과 16명)에서 림프구의 염색체이상 빈도를 대조군 49명과 비교하여 저선량 만성피폭시 인체에 미치는 영향을 조사하였다. 종사자의 축적선량은 0.30~40.07 mSv였으며 총축적선량 5 mSv 이하가 46%로 가장 많았다. 염색체 이상이 있는 세포수는 종사자군에서 1.275%로, 대조군에서의 0.677%에 비해 더 높았다( $p < 0.001$ ). 염색분체형 이상은 종사자군이 약간 높은 경향은 있지만 통계적인 유의성은 없었으며, 염색체형 이상은 대조군  $0.344 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 종사자군이  $0.706 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 로 2.1배 높았다( $P < 0.05$ ). 이중 교환은 대조군  $0.083 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 종사자군  $0.245 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 로 3.0배 높았다( $p < 0.05$ ). 총축적선량, 최근 5년 및 최근 2년간의 선량은 염색체이상과 선량-반응 관계가 없었으나, 최근 1년간 피폭선량과 염색체형 교환 빈도사이에 유의한 상관관계가 있었다( $p < 0.05$ ). 근무년수와 염색체 이상빈도와 선량-반응관계는 없었으며, 각 작업부서별 염색체이상 빈도 및 대조군과의 비교시, 염색체형 교환이 핵의학과  $0.313 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 로 가장 높았으며 ( $p < 0.05$ ), 치료방사선과 근무자  $0.265 \times 10^{-2}/\text{cell}$  ( $p = 0.0622$ ), 진단방사선과 근무자  $0.167 \times 10^{-2}/\text{cell}$  ( $p = 0.1107$ )순이었다.

이상과 같이 병원내 만성적 저선량 방사선 피폭자인 진단방사선과와 치료방사선과, 핵의학과 종사자의 염색체이상 빈도를 대조군과 비교한 결과 허용선량이하의 저선량 피폭에도 염색체 이상이 유발될 수 있음을 확인하였으며, 따라서 림프구염색체이상은 매우 낮은 양의 방사선 피폭에 의하여도 발생함을 알 수 있었다.

중심어 : 방사선, 염색체이상, 이동원 염색체, 병원내 방사선작업자

## 서 론

방사선이 발견된 이래로 산업과 의료 각 분야에서 방사선을 이용한 기술은 나날이 발전하고 있으며 이의 이용 또한 지속적으로 증가하고 있다. 이에 따라 작업과정중 불가피하게 방사선에 노출될 가능성이 있는 작업자가 증가하고 있으며, 이들의 방사선에 의한 건강상의 위해여부와 그 정도에도 관심이 많아지고 있다.

방사선의 직업적 폭로에 관한 연구는 오래전부터 많은 분야에서 진행되고 있다. 1920년대 형광시계 제조 노동자 1700여명이 라듐이 포함된 형광 염료가 묻은 붓을 입에 문혀 칠하면서 평균 17Gy의  $\alpha$ -입자에 폭로되어 이중 48명이 골육종에 걸려 사망한 예가 있으며, 우라늄이나 라돈 광산 작업 광부에게서 라돈이  $\alpha$ -입자를 방출하는 가스로 폐에 오랜 기간 낮은 농도로 폭로되어 5년후부터 암이 과잉으로 발생하기 시작해 15~20년내에 최대로 발생한다는 보고도 있다. [1]

저선량의 방사선에 지속적인 피폭이 불가피한 방사선 작업종사자 중 원자력발전소 종사자들을 대상으로 하여 말초혈액의 림프구 염색체이상을 분석한 연구[2-5]에서 종사자들의 염색체 이상빈도가 대조군에 비해 유의하게 높음이 일관되게

조사되었다. 원전 종사자 197명을 대상으로 10년 추구 조사한 연구[6]에서 허용선량인 연간 5mSv 이하의 저선량에 피폭된 경우에도 염색체 이상이 유발되며, 이는 대조군에 비해 유의하게 높았다.

특히 우리나라 원전 종사자 135명을 대조군 135명과 염색체 이상을 비교한 결과[5], 대조군에 비해 종사자들의 염색체 이상이 유의하게 높았으며, 최근 5년간의 축적선량과 염색체이상이 선량-반응관계가 있음을 보고하고 있다.

병원내 작업중 방사선에 피폭될 가능성이 있는 분야는 진단 방사선과, 치료방사선과, 그리고 핵의학과를 들 수 있다.

진단 방사선과는 X-선 촬영을 주로 하는 일반 촬영실 근무자, 컴퓨터 단층촬영, 상부위장관 조영술이나 혈관조영술, 유방 조영술을 시행하는 과정에서 차폐복을 사용하지만 이로써는 차폐가 되지 않는 부위가 피폭될 경우나 차폐복의 불성실한 착용에 의해 주로 X-선에 피폭 가능성이 있다. 치료방사선과는 방사선사나 의사들이 Co-60 원격 조사장치나 선형가속기를 이용해 암환자를 치료하는 과정이나, 자궁 경부암환자 강내 방사선 치료(Intracavitary Radiation) 기술을 위해 Cs-137을 사용하는 경우, 선원의 이동이나 삽입 및 제거 과

정중에  $\gamma$ 선에 노출될 수 있다. 핵의학과는 갑상선질환 진단과 치료에 가장 많이 사용되는 방사성 핵종중 하나인 방사성 옥소(I-131)의 제조나 투약과정이 문제될 수 있으며, 그 외에도 임상 핵의학에서 널리 이용되고 있는 Tc-99m의 취급 과정에서 만성적 피폭이 우려된다.

이들 의료용 방사선 작업 종사자들의 직업적 피폭에 의한 피폭량은 작업 내용과 근무년수등에 따라 차이는 있겠지만, 허용피폭선량(50mSv/year) 이하의 저선량인 경우가 대부분이나, Bigatti[4], Barquinero[7], Jha[8]연구에서 일관되게 이상빈도가 유의하게 높게 보고되고 있다.

이러한 병원내 방사선 작업종사자들을 대상으로 하는 연구는 그리 많지 않으며 특히 국내에서는 아직 보고된 바가 없다. 이에 본 연구는 국내 1개 병원을 대상으로 진단방사선과, 치료방사선과, 핵의학과 근무자들의 림프구 염색체 이상빈도를 연령과 흡연, 근무년수, 작업부서, 그리고 축적선량을 중요변수로 분석하였다.

## 연구 방법

### 연구대상

국내 1개 종합병원의 진단 방사선과, 치료방사선과 및 핵의학과에 근무하는 의사와 기사중 각 과별로 18명, 17명, 16명 총 51명을 대상으로 하고, 대조군은 염색체이상을 초래할 가능성이 있는 약물이나 최근진단용 X-선에 노출된 경험이 없는 건강한 성인으로서 성, 연령을 고려하여 49명을 선정했다. 종사자군의 평균연령은 33.0세, 대조군은 30.7세였으며, 남성이 대부분으로 종사자군은 여성이 10명(19.6%)이고 대조군은 49명중 7명(14.6%)이었다.

### 연구방법

#### 염색체 이상 분석

정맥혈액을 무균적으로 채취하여 10%의 우태아 혈청과 항생제가 들어있는 RPMI 1640 배양액 9ml에 전혈 1ml을 넣은 후 PHA(phytohemagglutinin)를 0.2ml 첨가하여 5%의 CO<sub>2</sub>가 공급되는 37°C 배양기에 48내지 50시간 부유 배양시켰다.

염색체 관찰이 가능한 세포분열중기의 세포를 얻기 위해 배양 마지막 3시간 전에 colcemid( $2 \times 10^{-7}M$ )을 첨가하였다. 배양이 끝나면 0.0075M KCl로 저장처리후 Canoy 고정액 (methanol :

acetic acid = 3 : 1)으로 2회 고정하여 증류수에 미리 적신 slide glass에 떨어뜨려 공기 중에서 건조시킨후 5% Giemsa액으로 염색하였다. 염색된 표본은 광학현미경하에서 각 사람당 200개씩 중기분열상을 선택하여, 염색체이상의 형태를 관찰하며 생성기전에 따라 염색체분체형이상과 염색체형이상으로 나누어 계측하였다.

### 자료분석

연구대상자의 성, 연령, 임신력, 직업력등 일반사항과 염색체이상을 유발할 수 있는 약물복용여부, 유전질환여부, 최근 치료용 또는 진단용 방사선에 피폭된 적이 있는지, 흡연, 음주여부는 설문지를 사용하였고 종사자의 피폭정도는 작업 근무년수와 필름뱃지 판독한 기록인 개인별 누적피폭선량을 이용하였다. 이때 필름뱃지 판독 최소단위 선량은 0.1mSv로 거의 무시할 수 있는 적은 양이지만 실제 피폭여부와 상관없이 뱃지폐용기간중 매월 0.1mSv가 피폭되는 것으로 누적 기록되어 정확한 실제 피폭량은 아님을 감안하여, 적절하게 3-4구간으로 나누어 피폭정도의 증가를 가능하는 척도로 사용하였다.

종사자군과 대조군의 염색체 이상 빈도의 차이는 Wilcoxon signed rank test 와 Kruskal-Wallis test로 여러 변수별로 구간별 평균의 차이를 검정하였다. 근무년수, 축적선량과 염색체이상 분포간의 상관관계는 Kendal test하였다. [9]

## 결 과

### 연구대상자의 일반적 특성

여성은 대조군에서 19.6%, 종사자군 14.6%의 비율로 성비구성에 두군간 유의한 차이는 없어 분석시 성에 따른 차이는 고려하지 않았다(Table 1). 대조군과 종사자군의 연령구간별 구성비는 비슷하였고, 대조군은 최저 21세에서 47세까지 평균 30.7세였고, 종사자군은 27세에서 51세 범위이며 평균 33.0세이었다. 흡연자는 대조군 56.3%, 종사자군 49.0%로 큰 차이가 없었으며, 음주는 대조군의 58.3%에 비해 종사자군이 72.5%로 높았다. 대상자중 약물 복용자는 위장약과 감기약 복용중인 4명으로 적어 분석시 고려하지 않았다. 가족중 유전질환이 있거나 최근 진단용 X-선 촬영 받은 사람은 없었다.

Table 1. Characteristics of study population

Characterisitcs	No of Person(%)				
	Exposed				Control
	DR	TR	NM	Total	
Sex					
Male	14	14	13	41(80.4)	41(85.4)
Female	4	3	3	10(19.6)	7(14.6)
Age					
20-29	6	5	8	19(37.3)	18(37.5)
30-39	9	10	7	26(51.0)	24(50.0)
40-49	2	2	1	5(9.8)	6(12.5)
50-59	1	0	0	1(1.9)	0
Smoking					
No	10	7	9	26(51.0)	21(43.8)
Yes	8	10	7	25(49.0)	27(56.3)
Alcohol					
No	4	5	5	14(27.4)	20(41.7)
Yes	14	12	11	37(72.5)	28(58.3)
Total	18	17	16	51(100.0)	48(100.0)

DR : Diagnostic Radiology  
 TR : Therapeutic Radiology  
 NM : Nuclear Medicine

연구대상자의 염색체 이상 분석

종사자군과 대조군 각각에서 연령에 따른 염색체 이상 빈도의 통계적으로 유의한 증가는 없었으며, 흡연여부에 따른 유의한 차이도 없었다. 종사자군이 염색체형이상이나 염색분체형이상 모두 대조군에 비해 높았다(Table 2). 특히 염색체형이상중 이동원염색체 및 환형 염색체를 포함하는 교환은 종사자군  $0.245 \times 10^{-2}/\text{cell}$  으로 대조군  $0.083 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 2.95배 높았으며( $p < 0.05$ ), 결실도  $0.461 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 으로 대조군  $0.260 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 많았다.

Table 2. The frequency of chromosome aberrations in control and in exposed individuals (mean per 100 cells)

No. of persons	Chromatid Type			Chromosome Type			Percent of aberrant cell(%)
	Deletion	Exchange	Total	Deletion	Exchange	Total	
	(mean ± S.E.)			(mean ± S.E.)			
Control 48	0.542 ±0.087	0.052 ±0.027	0.594 ±0.096	0.260 ±0.054	0.083 ±0.031	0.344 ±0.065	0.677
Exposed 51	0.725 ±0.093	0.049 ±0.021	0.775 ±0.093	0.461 ±0.086	0.245 ±0.058	0.706 ±0.119	1.275

선량별 염색체 이상 빈도

기록이 없는 1명을 제외하고 종사자 50명의 총 축적 선량범위가 0.30-40.07 mSv였고, 5 mSv 단위로 나누어 분석할 때 (table 3), 축적선량 5mSv 이하가 46%로 가장 많았으며, 대조군 포함여부와 관계없이 염색체 이상과 선량증가는 유의한 상관이 없었다.

최근 5년간의 축적 피폭선량은 총 22명, 최근 2년간의 축적 피폭선량은 총 41명의 분석이 가능하였다. 각각 2mSv를 단위로 상관분석 결과 대조군 포함여부와 관계없이 피폭선량과 염색체 이상 빈도와 유의한 상관성이 없었다.

최근 1년간 피폭선량 기록은 총 45명으로, 물리적 선량추정으로 판독가능 최저량이 월간 0.1 mSv이므로 연간 1.2 mSv를 단위로 나누어 분석하였다(Table 4). 82%가 1.2 mSv이하였으며 연간 2.4 mSv이상 피폭자는 한사람이었다. 대조군 포함 상관분석에서 염색체형 교환( $p=0.0026$ )과 염색체 이상이 있는 세포 빈도( $p=0.0003$ )가 피폭선량과 유의한 상관성이 있었다. 특히 극히 적은 선량인 1.2 mSv이하 피폭자 37명을 대조군과 비교했을 때, 염색분체형은 큰 차이가 없으나 염색체형 결실은 대조군  $0.260 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 종사자군  $0.486 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 이고, 교환도 대조군  $0.083 \times 10^{-2}/\text{cell}$ , 종사자군  $0.189 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 으로 2.3배 높았다.

근무년수별 염색체이상 빈도

종사자군 총 51명의 평균 근무년수는  $7.6(\pm 2.3)$ 년이었고 근무년수가 5년 미만인 종사자가 26명(51%)으로 대부분이었고, 5년에서 10년 사이가 7명(14%), 10년에서 15년까지 12명(24%), 15년 이상 6명(12%)였다.(Table 5)

Table 3. The frequency of chromosome aberration (mean per 100 cells) comparing the workers exposed to radiation with control by total cumulative dose

	No of persons	Chromatid type			Chromosome type			Percent of aberrant cell
		Deletion	Exchange	Total	Deletion	Exchange	Total	
Control	48	0.542	0.050	0.594	0.260	0.083	0.344	0.677
Exposed *								
range 1( <5mSv)	23	0.565	0.065	0.630	0.543	0.196	0.739	1.152
range 2( 5≤-<10mSv)	12	0.875	0.875	0.875	0.417	0.333	0.750	1.250
range 3(10≤-<15mSv)	5	1.200	0.100	1.300	0.300	0.100	0.400	1.700
range 4(15≤-<20mSv)	5	0.500	0	0.500	0.300	0.500	0.800	1.200
range 5(20mSv≤)	5	0.600	0	0.600	0.600	0.200	0.800	1.300
Total	50	0.700	0.040	0.750	0.470	0.250	0.690	1.250
Kendal Correlation	control(+)							
	p	0.1921	0.4557	0.2232	0.0687	0.0544	0.0871	0.0591
	control(-)							
	p	0.4022	0.2875	0.5816	0.6876	0.2133	0.3885	0.3979

\* Recorded doses were divided by 5 range

Table 4. The frequency of chromosome aberration (mean per 100 cells) comparing the workers exposed to radiation with control by total cumulative dose of last year

	No of persons	Chromatid type			Chromosome type			Percent of cells with aberrant
		Deletion	Exchange	Total	Deletion	Exchange	Total	
Control	48	0.542	0.050	0.594	0.260	0.083	0.344	0.677
Exposed *								
range 1( <1.2mSv)	37	0.676	0.054	0.730	0.486	0.189	0.676	1.257
range 2( 1.2≤-<2.4mSv)	7	0.357	0	0.357	0.571	0.357	0.929	1.000
range 3(2.4mSv≤)	1	1.500	0	1.500	0.300	0.600	0.900	1.800
Total	45	0.683	0.040	0.723	0.459	0.255	0.714	1.275
Kendal Correlation	control(+)							
	p	0.1377	0.5143	0.1482	0.0501	0.0026 **	0.0037 **	0.0003
	control(-)							
	p	0.4266	0.2440	0.5536	0.8054	0.1296	0.2371	0.4313

\* Recorded doses were divided by 3 range

\*\* p<0.005

Table 5. The frequency of chromosome aberration (mean per 100 cells) comparing the workers exposed to radiation with control by duration of employment

Duration of employment (yr)	No of persons	Chromatid type			Chromosome type			Percent of aberration cell
		Deletion	Exchange	Total	Deletion	Exchange	Total	
Control	48	0.542	0.050	0.594	0.260	0.083	0.344	0.677
Exposed								
0 ≤ < 5	26	0.808	0.077	0.885	0.481	0.269	0.750	1.308
5 ≤ < 10	7	0.571	0	0.571	0.500	0.143	0.643	1.143
10 ≤ < 5	12	0.667	0	0.667	0.417	0.167	0.583	1.167
15 ≤	6	0.667	0.083	0.750	0.417	0.217	0.833	1.500
Total	51	0.725	0.049	0.775	0.461	0.245	0.706	1.275
Kendal Correlation								
	control(+)							
	p	0.2909	0.8753	0.3249	0.0764	0.0083	0.0175	0.0008
	control(-)							
	p	0.5061	0.3449	0.3400	0.4574	0.3182	0.4838	0.8997

Table 6. The frequency of chromosome aberration (mean per 100 cells) in workers and in control by job area

	No of persons	Chromatid type			Chromosome type			Percent of aberration cell
		Deletion	Exchange	Total	Deletion	Exchange	Total	
		(mean ± S.E.)			(mean ± S.E.)			
Control	48	0.542 ±0.087	0.050 ±0.027	0.594 ±0.096	0.260 ±0.054	0.083 ±0.031	0.344 ±0.065	0.677
DR	18	0.806 ±0.157	0.083 ±0.045	0.889 ±0.074	0.472 ±0.118	0.167 ±0.057	0.639 ±0.139	1.417*
TR	17	0.471 ±0.125	0.029 ±0.029	0.500 ±0.129	0.412 ±0.118	0.265* ±0.106	0.676* ±0.289	0.971
NM	16	0.906 ±0.189	0.031 ±0.031	0.937 ±0.182	0.500 ±0.129	0.313* ±0.136	0.812* ±0.176	1.437*

DR : Diagnostic Radiology

\* p&lt;0.01

TR : Therapeutic Radiology

NM : Nuclear Medicine

염색분체형 이상은 5년 이하 근무자에서 많이 관찰되었으나 근무년수에 따른 유의한 차이는 없었고, 염색체형이상은 교환과 결실을 합한 경우 15년이상 근무자가  $0.833 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 으로 가장 많으나, 교환만 분석할 경우 5년이하  $0.269 \times 10^{-2}/\text{cell}$ , 15년이상  $0.217 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 으로 염색분체형과 마찬가지로 근무년수가 적은 경우 염색체 이상빈도가 더 높은 경향이 있었다.

대조군 제외 분석시 유의한 상관성이 없으나, 대조군 포함시 염색체형 교환 빈도가 근무년수 증가에 따라 유의하게 증가하며(p<0.01), 전체 염색체 이상을 갖는 세포의 빈도도 근무년수 증가와 상관성이 있었다(p<0.001).

#### 작업 부서별 염색체이상 빈도

3개과 간의 염색체이상 빈도는 염색분체형

( $p=0.135$ ) 염색체형( $p=0.174$ ) 모두 차이가 없었다. 각 부서별로 대조군과 비교한 결과 (Table 6)진단방사선과는 염색분체형 이상( $p=0.116$ ), 염색체형 이상( $p=0.068$ ) 모두 대조군과 유의한 차이가 없었다. 치료방사선과는 염색분체형 이상은 차이가 없었으나( $0.761$ ), 염색체형 이상은 대조군에 비해 2.0배 높았다( $p<0.05$ ). 핵의학과의 경우도 염색분체형 이상은 차이가 없었으나 ( $p=0.064$ )염색체형 이상이 대조군에 비해 2.4배 유의하게 많았다( $p<0.05$ ). 염색체 이상이 있는 세포 빈도도 대조군 0.67%에 비해 핵의학과 1.44%로 2.1배 높았다( $p<0.005$ )

특히 염색체형 이상은 결실이 3개과 모두 대조군과 유의한 차이가 없으나, 이동원 염색체 이상을 포함하는 교환은 대조군에 비해 진단방사선과는 2.0배 높았고, 치료방사선과, 핵의학과는 각각 3.2, 3.8배로서 통계적으로도 유의하게 ( $p<0.05$ ) 많았다.

## 고 찰

세포주기중 염색체복제 이전단계의 손상에 의해 유발되는 염색체형이상 교환(exchange)은 이동원 염색체와 환형 염색체로 구분되는데 특히 이동원 염색체 이상은 비교적 이온화방사선에 특이적이고 구분이 용이하며 [10], 환형 염색체보다 높은 빈도로 관찰되어 생물학적 선량 측정에 주로 이용된다[11-13]. 본 연구에서 대조군 49명에서 총 9800개의 림프구세포를 검경하여  $0.073 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 의 이동원 염색체이상을 관찰하였다. 한국인을 대상으로 한 다른 연구에서 대조군의 이동원 염색체 이상은 135명을 대상으로 135000개 세포를 관찰한 결과인  $0.052 \times 10^{-2}/\text{cell}$ [5] 44명을 대상으로 8890개 세포를 관찰한 결과인  $0.050 \times 10^{-2}/\text{cell}$ [9], 60명을 대상으로 600개의 세포를 검역한  $10 \times 10^{-2}/\text{cell}$ [14]등의 연구결과가 있다. 본 연구의 대조군의 이동원 염색체이상 빈도는 [14]의 연구보다는 훨씬 낮은 수치이지만 [5,9]의 결과와는 매우 유사하였다.

종사자군 51명의 이동원 염색체 이상(dicentric chromosome aberration)은  $0.225 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 으로 대조군의  $0.073 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 3.1배 많아 ( $p<0.05$ ) 방사선 작업자를 조사한 다른 연구 [4,8,15]와 일치하며, 저선량의 방사선에도 이동원 염색체이상이 유발되고, 이는 대조군에 비해 뚜렷

이 구분되는 지표로 이용될 수 있음을 확인하였다.

만성적인 저선량의 피폭시에는 이동원 염색체 이상보다 많이 관찰되는 결실(deletion)이 유용한 경우도 있다[7, 16]. 특히 체르노빌 원전 사고 피폭자들의 역학조사에서 뚜렷한 결실 염색체이상 증가가 보고되고 있으며 [17], Barquinerо[7] 및 Balasem[18]의 연구는 이동원 염색체이상은 유의한 차이가 없지만, 결실에서 뚜렷한 차이를 보고하고 있다. 본 연구에서 대조군의 결실 염색체이상빈도가  $0.260 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 로 이동원 염색체이상을 포함한 교환 빈도  $0.083 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 에 비해 3.1배 더 빈번하게 관찰되었으며, 종사자군은 결실의 빈도가 대조군에 비해 1.8배 높은  $0.461 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 였다.

연령증가에 따른 염색체이상 빈도의 차이는 염색체형교환의 증가를 보고하고 있는 연구 [19]와 반면에 연령과 염색체이상과는 상관관계가 없다는 상반된 연구 [20,21]결과가 있다. 본 연구에서는 대조군의 염색체형 교환이 연령에 따라 증가 경향은 있으나 통계적인 유의성은 없어 연령과 염색체이상과의 상관관계를 볼 수 없었다.

흡연도 연구자에 따라 다소 이견이 있는데, heavy smoker의 경우 비흡연인에 비해 뚜렷한 염색체이상이 많다는 연구 [22,23]가 있는 반면, 유의한 차이가 없다는 보고[2,24]도 있다. 본 연구에서는 대조군과 종사자군 각각을 흡연과 비흡연으로 나누어 분석한 결과, 차이를 보고한 [4]의 연구와 다르게 대조군과 종사자군 모두에서 염색체형이상의 결실 및 교환의 흡연에 따른 증가를 관찰할 수 없었는데, 이는 흡연자의 하루 흡연량이 평균 11.5개피로 적어서 연관성을 파악하는 적절한 분석변수 역할을 하지 못한 것으로 보인다.

염색체이상은 반감기가 3년 정도로 알려진 림프구의 빠른 재생여부와 DNA 손상의 민감도, 회복정도에 영향을 받는다[11]. 방사선 작업종사자 경우 장기간에 걸쳐 지속적으로 소량 반복피폭으로 염색체이상 빈도가 증가하며 동시에 림프구의 수명제한으로 염색체이상 빈도가 감소하는, 증가와 감소가 동시에 장기간동안 일어난다. 또한 소량의 반복적 피폭의 경우 피폭이 신체 전체에 균일하지 않고 방사선량률도 일정하지 않아 단순측정선량과 염색체이상빈도의 선량-반응관계는 파악하기 어렵다. 따라서 림프구의 생존기간과 반감기를 고려한 보정선량이 제안되고 있으나 [2,25], 본 연구의 대상자는 필름 배지의 측정한계치인

월 0.1 mSv이하의 저선량 피폭자가 대부분으로, 기록된 피폭량을 피폭 정도를 가늠하는 척도로만 사용하였다.

총축적선량과 최근 5년 최근 2년의 피폭량과 이동원 염색체이상은 상관관계가 없으며, 다만 최근 1년간의 피폭선량과 대조군 포함 분석에서 피폭량 증가와 이동원 염색체이상이 유의한 상관관계가 있었다. 그러나 1.2mSv/year 이하 피폭자가 대부분으로 1구간에 82%가 집중되어 있음을 감안할 때 축적선량과 염색체이상빈도와와의 선량 - 반응관계를 단정지을 수 없는 결과였다. 종사자 총 51명의 51%인 5년 이하 근무자의 염색체 이상빈도가 가장 높았고, 근무년수 증가에 따른 선량 - 반응관계는 없었다. 이는 PHA에 반응하는 림프구의 life time과 재순환 과정 중에 손상받은 염색체가 소멸되는 것에 기인하는 것으로 여겨진다[4,7,8]. 또한 근무년수가 증가할 경우 오히려 작업내용이 직접 피폭가능성이 있는 일선작업보다 관리직이 되는 경우가 많아 오히려 피폭량이 줄어드는 것도 이유가 될 것이다.

작업 부서별로 각각을 대조군과 비교한 결과 (Table 6), 3개과 모두 염색체형 이상이 대조군에 비해 많았으며, 진단방사선과와 핵의학과는 염색체형 이상도 높았다. 핵의학과  $0.812 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 이며, 치료방사선과  $0.676 \times 10^{-2}/\text{cell}$ , 진단방사선과  $0.344 \times 10^{-2}/\text{cell}$ 의 순으로 염색체형 이상이 관찰되었다.

과별차이는 몇 가지로 나누어 볼 수 있다. 첫째 가능성은 각과에서 다루는 방사선 선질의 차이로, 진단 방사선과가 X-선, 치료방사선과가 X-선과  $\gamma$ -선, 핵의학과가  $\gamma$ -선과  $\beta$ -선을 주로 다루어 약간 선질에 차이가 있다. 그러나 공통적으로 주된 피폭선질인 X-선과  $\gamma$ -선은 작용기전이 거의 비슷하여, 작업선질별로 나눈 분석[7]에서는 유의한 결론을 내고 있지 못하고 있다.

가장 적절한 설명은 각과마다 작업내용의 차이에서 오는 피폭가능성의 차이로 진단방사선과, 치료방사선과는 피폭기회가 기계조작시에 유출되는 방사선에 의한 것으로 작업자가 피폭시기와 양, 장소 등을 정확히 알고, 기계조작을 작업자가 직접 해 자신의 피폭가능성을 비교적 정확히 파악하고 방사선 발생시에는 접근을 피하는 등, 작업자가 스스로 피폭을 어느 정도 제어할 수 있다.

반면 핵의학과는 많은 차폐시설과 용구에도 불

구하고, 방사성 핵종을 작업자가 직접 다루어 환자에게 주입할 것을 만들고, 이를 환자에게 주입하는 과정과, 환자의 가검물이나 혈액 채취와 검사시에도 피폭의 가능성이 있으며, 핵종을 주입받은 환자를 직접 상대하면서 다른과에 비해 피폭의 기회가 많아 염색체이상이 타과에 비해 비교적 많이 유발된 것으로 보인다.

## 참 고 문 헌

1. W.F. Bandom, G. Saccomanno, V.E. Archer, P.G. Archer and A.D. Bloom, "Chromosome aberrations as a biological dose-response indicator of radiation exposure in uranium miner." *Radiat. Res.* 76, 159-171(1978)
2. M. Bauchinger, J. Koln-Gerresheim, E.Schmid, and J. Drespo, "Chromosome analysis of nuclear-power plant workers." *Int. J. Radiat. Biol.* 38, 577-581 (1980)
3. M. Bauchinger, H. Eckerl, and G. Drexker, "Chromosome dosimetry and occupational radiation exposure. *Radiat. Protect. Dosimetry.*" 2, 93-97(1984)
4. P. Bigatti, L. Lamerti, G. Ardito, and F. Amellino, "Cytogenetic monitoring of hospital workers exposed to low-level ionizing radiation." *Muta Res.* 204, 343-347(1988)
5. H.W. Chung, E.K. Ryu, K.J. Kim, and S.W. Ha, "Chromosome aberrations in workers of nuclear-power plants." *Muta Res.* 350, 370-314(1996)
6. H.J. Evans, The induction of aberrations in human chromosome following exposure to mutagens / carcinogens in : *Environmental Carcinogenesis* P. Emmelot and E. Kriek(Eds). pp. 329-344, Elsevier, Amsterdam(1979)
7. J.F. Barquinero, L. Bairios, M.R. Caballin, R. Miro, M. Ribasand, A.Subias, "Cytogenetic analysis of lymphocytes from hospital workers occupationally exposed to low levels of ionizing radiation." *Muta Res.* 286, 275-279(1993)
8. A.N. Jha, and T. Sharma, "Enhanced frequency of chromosome aberration in



- workers occupationally exposed to diagnostic X-rays." *Mutat. Res.* 260, 343-348(1991)
9. S.J. Kim, S.E. Lee and H.W. Chung, "Chromosomal aberration and sister chromatid exchange in peripheral lymphocyte of nurses handling anticancer drug." *Kor. J. Environ Health*, 21, 3, 67-76 (1996)
  10. M. Tubiana, J. Putreix, A. Wambers introduction to Radiobiology. Taylor & Francis, London (1990)
  11. M.S. Sasaki use of lymphocytes chromosome aberrations in biological dosimetry : possibilities and limitations. Radiation-induced chromosome damage in man. pp. 585-604 Alan R. Liss, New York(1983)
  12. IAEA. Biological dosimetry : Chromosomal aberration analysis for dose assessment (Technical reports series No.260) IAEA, Vienna, (1986)
  13. R.J. Preston, J.G. Brewen and K.P. Jones, "Radiation-induced chromosome aberrations in Chinese hamster lymphocyte; A comparison of in vivo and in vitro exposure." *Int. J. Radiat. Biol.* 21,397-400(1972)
  14. J.B. Kim, Y.j. Kim, K.Y. Kim, M.H. Moon, and M.H. Lee, "Genetic studies on Korean population 19 Frequency of chromosomal aberration in normal group aged under 40 years old." *Kor. J. Genetics* 14, 3, 153-160(1992)
  15. A. Leonard, H. Deknudt, E.D. Leonaed, AND Decat, "Chromosome aberrations in employees from fossil-fueled and nuclear-power plants." *Muta Res.* 138, 205-212(1984)
  16. R.J. Purrott. D.C. Lloyd, and J.S. Prosser, "The study of chromosome aberration yield in human lymphocytes as an indicator of radiation dose. IV A review of cases investigated." NRPB-R 23, U.K., National Radiology Protection Board, Harwell(1973)
  17. G. Stephan and U. Oestricher, "An increased frequency of structural chromosome aberrations in persons present in the vicinity of Chernobyl during and after the reactor accident. Is this effect caused by radiation exposure?" *Muta Res.* 223, 7-12(1989)
  18. A.N. Balasem, A.S.-K. Ali, S. Hussain, and K.O. Hussain "Chromosomal aberration analysis in peripheral lymphocyte in radiation workers." *Muta. Res.* 271, 209-211(1993)
  19. S.M. Gailoway, P.K. Berry, W.W. Nichols, S.R. Wolman, K.A. Soper, P.D. Stolley and P. Archer, "Chromosome aberration individuals occupationally exposed to ethylene oxide, and in a large control populations." *Muta. Res.* 170, 55-74 (1986)
  20. B. Ivanov, L. Draskov, and M. Mileva, "Spontaneous chromosomal aberration levels in human peripheral lymphocytes." *Muta. Res.* 52, 421-426 (1978)
  21. A.K. Sinha, A. Linscombe, B. Goolapudi and C.P. Park, "Cytogenetic variability of lymphocytes from phenotypically normal men ; influence of age, smoking, season, and sample storage." *J. of Toxicology and Environmental Health.* 17, 327-345(1986)
  22. G. Obe, and J. Herba, "Chromosome aberrations in heavy smokers." *Hum. Genet.* 41, 259-263 (1978)
  23. L.G. Littlefield, E.E. Joiner, "Analysis of chromosome aberrations in lymphocytes of long-term heavy smokers." *Muta, Res.* 170, 145-150 (1986)
  24. M. Ferrari, M. Artuso. s. Bonassi, Z. Cavalieri, D. Pescatore, E. Marchini, and V. Pisano, "Cytogenetic biomonitoring of an Italian population exposed to pesticides ; Chromosome aberration and sister-chromatid exchange analyses in peripheral blood lymphocyte." *Muta. Res.* 260, 105-115 (1991)
  25. D.C. Lloyd, R.J. Purrott, E.J. Reeder, "The influence of unstable chromosome aberrations in peripheral blood lymphocytes from unirradiated occupationally exposed people." *Muta. Res.* 72, 523-532 (1980)
  26. H. Braselman, E. Schmid, M. Bauchinger. "Chromosome aberrations in nuclear powerplant workers; the influence of dose accumulation and lymphocyte life time." *Muta Res.* 306, 197-202 (1994)
  27. 하성환, 정해원, "염색체 검사", 원전종사자 및 주변주민에 대한 역학조사 보고서, 서울대학교병원 299-328, (1996)